

# FLEXIBILIDADE DO DESIGN DE PRODUTO COMO RESPOSTA À VARIAÇÃO DAS CONDICIONANTES TECNOLÓGICAS DE FABRICO

Carlos Aguiar\*, Carla Rocha\*, Fernando Gomes de Almeida<sup>†</sup> e Nuno Couto<sup>†</sup>

\*DESIGNstudioFEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal  
E-mail: dstudio@fe.up.pt, web page: <http://designstudiofeup.blogspot.com>

<sup>†</sup>Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)  
Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal  
E-mail: nunoac@fe.up.pt, web page: <http://www.fe.up.pt>

**Palavras - Chave:** Design, autocarro urbano, materiais compósitos e projecto cooperativo.

**Resumo.** Neste trabalho pretende-se abordar a importância dos conceitos formais propostos pelo Design serem capazes de se adaptar e potenciar a competitividade das soluções impostas pelas condicionantes técnicas (materiais e processos de fabrico) num projecto de desenvolvimento de produto, permitindo, assim, encontrar a melhor solução em termos de custos de produção e adequada resposta às necessidades dos utilizadores. O caso agora apresentado refere-se ao design de diferentes conceitos para uma carroçaria em material compósito de um autocarro que circulará em serviço de shuttle no Pólo Universitário da Asprela (Porto), no âmbito do projecto europeu CIVITAS.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos objectivos a atingir neste projecto é a diminuição dos níveis de emissões gasosas poluentes. Como o peso da carroçaria influencia os níveis de consumo de combustível, procurou-se desenvolver uma carroçaria leve, recorrendo à utilização de materiais compósitos associada a tecnologias de construção inovadoras (até agora pouco utilizadas neste segmento de produtos), uma vez que nos veículos com estruturas metálicas (em aço ou liga de alumínio), é difícil reduzir ainda mais o peso da construção corrente e, como o processo de fabrico é baseado em soldadura de perfis, torna-se de difícil automação, sendo também considerado um processo poluente.

Ao longo do desenvolvimento do projecto foram sucessivamente equacionadas várias bases mecânicas, abordagens estruturais e processos de fabrico, para os quais o design foi sempre procurando soluções que permitissem otimizar formalmente cada situação.

Esta metodologia e postura projectual mostram claramente como o design deve participar num todo de decisão holístico, visando atingir uma melhor solução e não ser tido como mera abordagem estilística em termos de imagem do produto final.

## 2 ABORDAGENS CONCEPTUAIS DO DESIGN DA CARROÇARIA

A base mecânica inicialmente considerada foi um chassis Toyota de um mini-autocarro de modelo Coaster. É de salientar que neste trabalho não se abordam as questões relativas à optimização de consumos pela via da motorização, abordadas por outra equipa de trabalho.

### 2.1 Estrutura modular (ossatura revestida)

Do ponto de vista da carroçaria, colocou-se numa fase inicial a hipótese de manter a frente e a traseira originais do Toyota Coaster, limitando a intervenção apenas ao tramo central, por razões de contenção de despesas e facilidade de realização. Constatada a pouca exequibilidade e, sobretudo, os muito duvidosos resultados estéticos em termos de capacidade de demonstração do projecto desta solução, passou-se a considerar a hipótese de construção de uma nova carroçaria de raiz, embora pesasse a grande limitação orçamental a considerar. A primeira abordagem partiu da ideia de que uma solução modular seria uma via para diminuir a dimensão dos componentes e, assim, reduzir os custos de ferramentas e moldes inerentes ao seu fabrico.

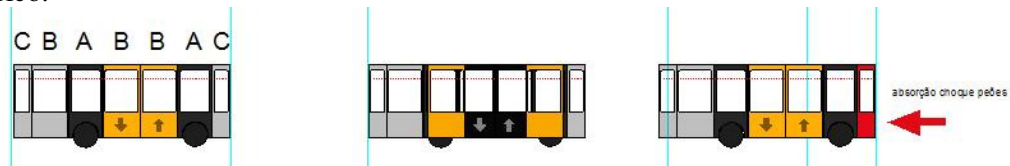


Figura 1: Conceito da estrutura modular

O projecto desenvolvido previa a consideração de três tipos de módulos:

Tipo A – módulo de maior resistência (possível utilização de fibra de carbono) constituindo “aros” estruturais ao nível dos rodados que permitiriam cumprir com os testes de capotamento (roll-over), garantindo a integridade da célula habitável pelos passageiros;

Tipo B – módulo “corrente” com possibilidade de abertura e instalação de porta de acesso;

Tipo C – módulo de fecho (foi dada especial pré-atenção às características de deformação e amortecimento no choque com peões – relevante na aplicação frontal) dotado de vidros planos, por imposição de orçamento e prazo de entrega.

Esta abordagem permitia, genericamente, a consideração de uma secção abaulada (com uma largura máxima ao nível da cota inferior das aberturas laterais) para maximizar a habitabilidade, e vidros planos nas faces frontal e traseira, de modo a reduzir os custos.

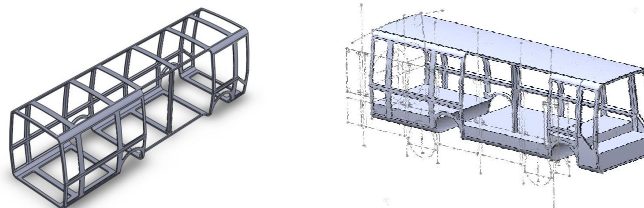


Figura 2: Estrutura monobloco com painéis apensos em material compósito

A solução reflecte ainda fortemente, do ponto de vista conceptual formal, a abordagem tradicional de estrutura reticulada metálica recoberta com painéis. Neste caso, estes seriam igualmente em material compósito. De notar que, desde o início, se considerou no piso uma plataforma elevatória para o acesso de utilizadores em cadeira de rodas. Numa fase seguinte constatou-se que, do ponto de vista dos materiais compósitos, seria preferível equacionar a construção numa só peça, uma vez que as dificuldades de molde eram inferiores às decorrentes dos necessários sistemas de fixação das várias partes. No entanto, a abordagem formal manteve-se inalterada, tendo apenas passado a considerar-se uma solução diferenciada para a traseira e a frente, optimizando a visibilidade do condutor.

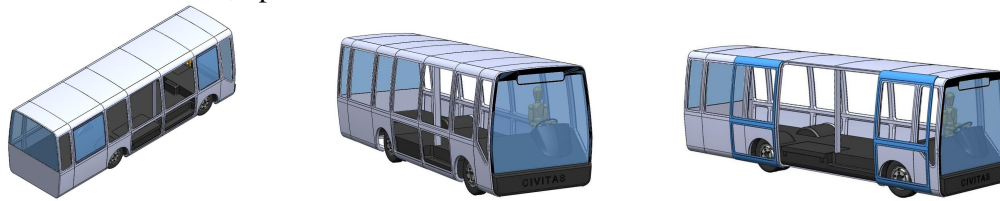


Figura 3: Estrutura modular em material sanduíche

## 2.2 Estrutura monocoque contínua

O projecto evoluiu com a identificação de um parceiro especializado na utilização industrial de materiais compósitos: a empresa ENP - Estaleiros Navais de Peniche. Com a entrada deste novo parceiro na equipa, e pelo facto deste dominar a produção de estruturas de considerável dimensão pelo método da infusão a vácuo, evoluiu-se para a consideração de uma estrutura verdadeiramente monocoque em que a resistência global decorre, sobretudo, do comportamento unitário de uma “casca” e já não de uma ossatura contraventada de elementos filiformes. Passou-se agora a considerar os painéis como estruturais, reforçando a secção nos locais fragilizados por força das aberturas necessárias. As portas, que no conceito anterior se encontravam juntas, foram separadas para permitir uma melhor distribuição das aberturas, e as aberturas do tejadilho foram desencontradas. O pavimento foi concebido como uma segunda peça a solidarizar com o corpo da carroçaria através de soldadura. A imagem geral do autocarro manteve-se, uma vez que estava validada pelos responsáveis do projecto. A construção foi orçamentada e concluiu-se que o valor necessário para os moldes era demasiado elevado.

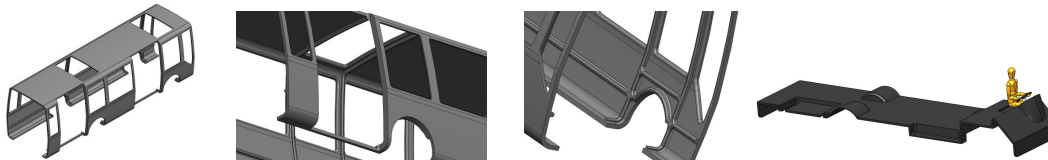


Figura 4: Carroçaria monocoque, pormenor dos reforços estruturais aplicados e piso do autocarro

## 2.3 Estrutura reticulada por enrolamento filamentar

A FEUP detém um conhecimento considerável relativamente ao processo de enrolamento filamentar, e essa tecnologia foi, entretanto, sugerida como alternativa a equacionar para tentar obviar algumas das dificuldades que estavam a surgir. Assim, foi

procurada uma solução de design que pudesse adaptar-se às características particulares do enrolamento filamentar, no qual se torna desinteressante a consideração de grandes aberturas. Desenvolveu-se para isso um pré-estudo de conceito baseado numa estrutura reticulada, que permitiria criar um ambiente interior totalmente aberto em dias mais quentes, através de um sistema de janelas em policarbonato que poderiam recolher totalmente sob o tejadilho. Apesar das potencialidades deste pré-conceito, sobretudo formais e em termos de ambiente interior do veículo, a necessidade de obtenção de resultados num espaço curto de tempo e o seu carácter eminentemente experimental levaram à sua desconsideração para desenvolvimento futuro.

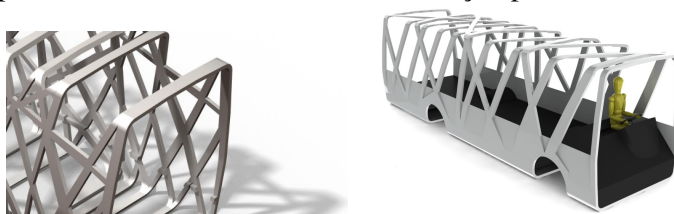


Figura 5: Estrutura da carroçaria reticulada

## 2.4 Solução de piso baixo e tracção à frente

A regra actual de abordagem para os veículos deste tipo passa pela consideração de uma motorização de tracção frontal, de forma a permitir a existência de um piso rebaixado e contínuo que garanta a rápida entrada e saída dos passageiros, diminuindo o tempo de imobilização nas paragens (crítico em termos de operações). Por isso, considerou-se a hipótese de utilizar um furgão ligeiro deste tipo (chassis-cabine), dotando-o de um vazio na retaguarda para a instalação de um eixo rígido ligando as duas rodas e respectiva suspensão, sobre o qual ficariam os únicos lugares sentados. A estrutura da carroçaria (monocoque) seria autoportante, e na frente envolveria o furgão totalmente descarnado com o tejadilho cortado (reduzido na prática à estrutura de suporte do motor e rodado da frente, direcção e área destinada ao lugar do condutor). Para ir ao encontro da tecnologia utilizada pelos Estaleiros Navais de Peniche, as aberturas para as janelas tornaram-se mais reduzidas e a largura dos pilares e os raios de curvatura dos cantos das mesmas aumentaram, de modo a reduzir as concentrações de tensões e a aproximar o mais possível a estrutura de uma "caixa" (ver figura seguinte). De modo a simplificar o processo de construção do molde da carroçaria e a reduzir os custos associados, assumiram-se todas as superfícies como planas, unidas por concordâncias cilíndricas de raios de curvatura constantes. O vidro da frente manteve-se plano, mas os da retaguarda (em policarbonato) passaram a ser encurvados (ainda que numa só direcção, para facilidade de produção).



Figura 6: Estrutura da carroçaria do conceito com piso baixo e tracção à frente

Apesar de ser o conceito que reunia as características mais adequadas ao tipo de utilização requerida, este foi abandonado por questões de dificuldade previsível de legalização face à legislação portuguesa (proibido cortar longarinas sem aval técnico do fabricante).

## 2.5 Solução final de novo sobre o chassis Toyota Coaster

Face às dificuldades de legalização e à ausência de orçamento suficiente para adquirir a base mecânica necessária, o projecto recuou novamente para a utilização do chassis Toyota já existente (apesar de se saber que uma solução de piso elevado implicava a consideração de infra-estruturas dedicadas de paragens sobreelevadas (solução introduzida nos transportes de Curitiba (Brasil) e que se mostrou eficiente) (ver figura seguinte). Para esta versão retomou-se a abordagem formal da carroçaria de piso baixo (“caixa”) adaptada agora à nova base mecânica.



Figura 7: Evolução do conceito da carroçaria final

Na fase inicial do desenvolvimento deste conceito, foi considerada uma estrutura monocoque (carroçaria e piso numa única peça), mas para facilitar a sua construção e reduzir o tempo de produção e custos associados, esta foi decomposta em duas peças, que serão construídas separadamente, sendo soldadas numa fase posterior. O piso, que integrará as embaladeiras, será fixo aos elementos de apoio do chassis através da integração de inserts metálicos, e servirá de base de encaixe para a carroçaria seguinte. Recorrendo ao processo de infusão de resina a vácuo, que implica a construção de moldes em contraplacado, a estrutura da carroçaria e o piso serão produzidos em material compósito com uma composição do tipo sanduíche, constituída por resina reforçada com fibra de vidro e com o núcleo em espuma de PVC. De modo a garantir a resistência nos pontos de maiores esforços (identificados por simulação pelo Método dos Elementos Finitos), foram aplicados reforços na estrutura da carroçaria e no piso (ver figuras seguintes).

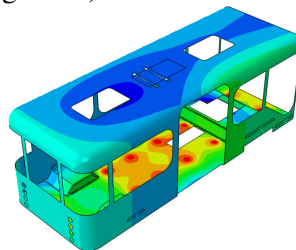


Figura 8: Análise de elementos finitos da carroçaria

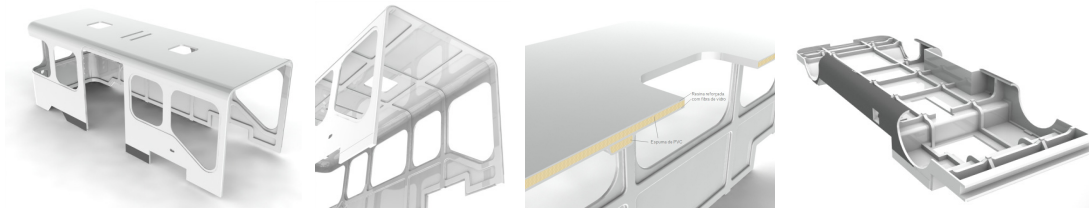


Figura 9: Estrutura da carroçaria final e composição do material sanduíche

Para permitir a conformidade dimensional com as exigências da legislação em termos de espaço livre entre os bancos, foi criada uma forma orgânica nos pilares laterais traseiros, que acompanha o raio de curvatura das janelas e também permite mostrar as potencialidades da tecnologia utilizada na obtenção de formas mais complexas, que são mais difíceis de concretizar em estruturas metálicas.

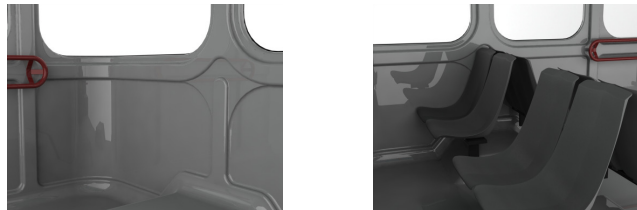


Figura 10: Forma orgânica criada junto dos pilares laterais traseiros



Figura 11: Conceito final adaptado ao chassis Toyota Coaster

Actualmente, a carroçaria, segundo o último Design referido, encontra-se em fase de fabrico. Esperamos que em breve se possa confirmar a valia das soluções adoptadas.

### 3 CONCLUSÕES

Com este trabalho, procurou-se mostrar a capacidade do Design para dar suporte a um processo cooperativo de desenvolvimento de produto em que as propostas formais, alicerçadas em opções que decorrem da análise cuidada dos diferentes sistemas produtivos que surgem ao longo de um projecto, contribuem para a criação de soluções economicamente competitivas e passíveis de serem materializadas de forma optimizada.

O Design assume, através desta flexibilidade, um papel fundamental no processo de criação de produtos, na medida em que permite a completa expressão e o desenvolvimento dos contributos das demais áreas científicas envolvidas, como a gestão e a engenharia.